

Pavel ŠMÍRA<sup>1</sup>, Tereza MURÍNOVÁ<sup>2</sup>, Jan ŠTĚPÁNEK<sup>3</sup>

## VYUŽITÍ ULTRAZVUKOVÉHO PŘÍSTROJE PUNDIT PRO ZJIŠŤOVÁNÍ STAVU DŘEVA V KONSTRUKCÍCH

### THE USE OF ULTRASONIC INSTRUMENT PUNDIT FOR DETECTING THE STATE OF WOOD IN STRUCTURES

#### Abstrakt

Stanovení mechanických vlastností dřevěných konstrukcí je nezbytným podkladem pro návrh a realizaci účinné sanace. Z tohoto důvodu jsou prováděny stavebně technické průzkumy. V tomto příspěvku jsou popsány možnosti konkrétního využití ultrazvukového přístroje PUNDIT LAB pro zkoušení dřevěných stavebních konstrukcí in situ. Zároveň byla ověřována vhodnost této nedestruktivní metody pro diagnostiku zabudovaných prvků konstrukčních rozměrů.

#### Klíčová slova

Ultrazvuk, nedestruktivní zkoušení, diagnostika dřevěných prvků.

#### Abstract

Determination of mechanical properties of timber structures is necessary for the design and implementation of effective rehabilitation. For this reason, the technical building surveys are performed. This paper describes the possibilities of practical use of ultrasonic instrument PUNDIT LAB for testing of timber construction in situ. They were also verifying the suitability of this non-destructive method for the diagnosis of built-in elements with structural dimensions.

#### Keywords

Ultra sound, nondestructive testing, diagnostics of wooden elements.

## 1 ÚVOD

Rozvoj využití nedestruktivních zkušebních metod má v současné době vzestupnou tendenci. Výhodou nedestruktivních metod je minimalizace zásahu do vyšetřované konstrukce nebo prvku. V případě, že nedojde k žádnému poškození sledovaného objektu, hovoříme o tzv. čistých metodách. U ostatních nedestruktivních metod dochází pouze k lokálnímu narušení.

Mezi čistě nedestruktivní zkoušky jsou řazeny elektroakustické metody, které zahrnují kladívkovou metodu, metodu tlumeného rázu, vibrační metody, zkoušení pomocí ultrazvuku apod. Přístroje pracující na bázi šíření ultrazvukových vln jsou používány běžně na zkoušení oceli a betonu. Možná je však i jejich aplikace na materiály značně nehomogenní, tedy i na dřevo.

---

<sup>1</sup> Ing. Pavel Šmíra, Thermo sanace, s.r.o., Chamrádova 475/23, 718 00 Ostrava – Kunčičky, tel.: (+420) 602 714 382 e-mail: pavel@smira-print.cz.

<sup>2</sup> Ing. Tereza Murínová, Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 322 e-mail: tereza.murinova@vsb.cz.

<sup>3</sup> Ing. Jan Štěpánek, Thermo sanace, s.r.o., Chamrádova 475/23, 718 00 Ostrava – Kunčičky, tel.: (+420) 604 861 591, e-mail: stepanek@thermosanace.eu.

## 2 PŘÍSTROJE PRACUJÍCÍ NA BÁZI ŠÍŘENÍ ULTRAZVUKOVÝCH VLN

Pro nedestruktivní hodnocení dřevěných konstrukcí je zde popsáno využití ultrazvukové impulzové metody, jejíž výhodou je možnost několikanásobného stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu v daném prostředí v témže místě. Tímto postupem je možné získat značné množství dat pro statistické hodnocení získaných výsledků, případně je možné danou veličinu sledovat v čase.

### 2.1 Princip metody

U dřevěných konstrukcí se nejčastěji používá systém produkující impulzové vlnění se dvěma sondami, jehož cílem je stanovení rychlosti vlnění v daném prostředí. Princip těchto zkoušek spočívá v tvorbě krátkých svazků tlumených mechanických pulzů, které jsou prostřednictvím jedné sondy – budiče, vnášeny do materiálu, a následně druhou sondou – snímačem, je vlnění prošlé zkoumanou hmotou zaznamenáno.

Rychlost ultrazvukového vlnění je ovlivněna mnoha faktory zejména hustotou materiálu, jeho poškozením, nehomogenitami (dutiny, trhliny, materiály s jinou hustotou apod.), vlhkostí dřeva, teplotou prostředí, atd. [3,4] Z tohoto důvodu je pro hodnocení dřevěných konstrukcí klíčové zejména stanovení rychlosti vlnění pomocí ultrazvukové impulzové průchodové metody [3,6]. Pomocí zjištěné vzdálenosti mezi sondami (měřicí základny) a doby průchodu vlnění je možné určit hledanou rychlost šíření ultrazvukového impulsu  $V$  dle vztahu z ČSN EN 12504 – 4:

$$V = \frac{L}{T} \text{ [km.s}^{-1}\text{]} \quad (1)$$

kde:

$L$  [mm] - je délka měřicí základny (vzdálenost středů dotkových ploch obou sond),

$T$  [μs] - je čas, který uplyne při průběhu impulsu měřicí základnou [2].

Pokud je známa hustota zkoumaného materiálu, je možné vypočítat dynamický modul pružnosti  $E_{cu}$  podle vztahu z ČSN 73 1371:

$$E_{cu} = \rho \cdot v_L \cdot \frac{1}{k^2} \text{ [MPa]} \quad (2)$$

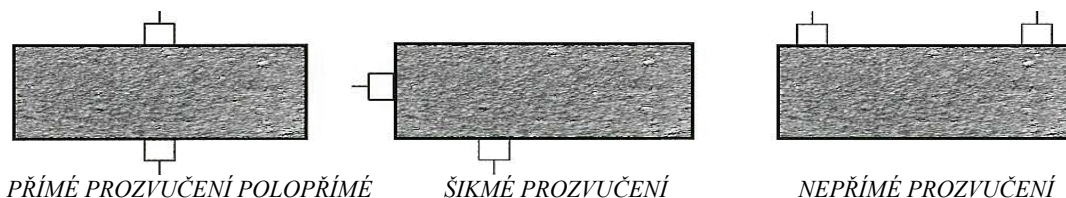
kde:

$v_L$  [km.s<sup>-1</sup>]- je impulzová rychlost podélného ultrazvukového vlnění,

$\rho$  [kg.m<sup>-3</sup>] - je objemová hmotnost zkoušeného materiálu,

$k$  - je součinitel rozměrnosti vlnění (např. pro jednorozměrné prostředí je roven 1) [1].

Pro stavební materiály se užívají frekvence vlnění v rozsahu 20 kHz až 500 kHz, které se volí v závislosti na charakteristikách zkoušeného prostředí a rozměrnosti zkoumaného prvku [3,6]. Kromě rychlosti průchodu vlnění daným materiálem může být u přístrojů k tomu určených zaznamenáván také obraz prošlého vlnění [3].



Obr. 1: Umístění sond [6]

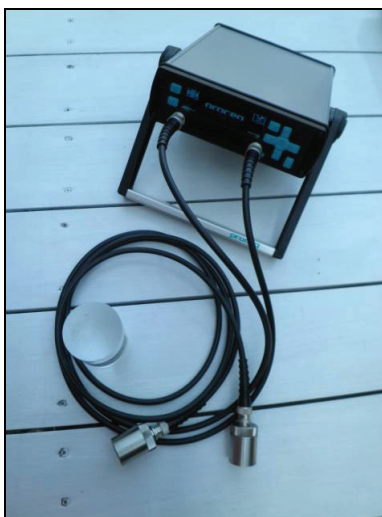
Přímé prozvučení je voleno pro stanovení rychlosti šíření impulsů v dřevěných prvcích nejčastěji, jelikož ve směru kolmém na plochu budiče je energie pulsů maximální. U prozvučení polopřímého jsou sondy taktéž na protilehlých stranách vyšetřovaného prvku, ovšem neleží

na téže normále, což se využívá především u špatně přístupných konstrukcí. Rychlost pulsů v místech s nepřístupnými protilehlými povrchy je stanovována polopřímým – šikmým prozvučením, u něž jsou sondy přikládány na přilehlé strany. Ke zjišťování kvality povrchu nebo u prvků s pouze jednou přístupnou plochou se aplikuje nepřímé prozvučování, kdy jsou sondy umístěny na téže straně. Místa, kde budou přikládány sondy, musí být jednoznačně označena [2, 6].

## 2.2 PUNDIT LAB

Přístroj PUNDIT LAB (obr. 2), pracující na bázi šíření ultrazvukových vln, je ve stavební praxi často používán, zejména pro hodnocení betonových a ocelových konstrukcí. V současné době se aplikuje také při diagnostických prohlídkách dřevěných prvků. Nastavením parametrů je možné zvolit frekvenci vlnění, jež může nabývat hodnot 24, 37, 54, 82, 150, 200, 220, 500 kHz, a variabilní průrazné napětí s hodnotami 125, 250, 350, 500 V. Pomocí uvedené elektroakustické metody je možno provádět:

- měření rychlosti šíření ultrazvukového impulsu;
- měření vzdálenosti mezi sondami;
- hodnocení stejnoměrnosti;
- měření povrchové rychlosti šíření ultrazvukového impulsu;
- měření hloubky trhliny. [6]



Obr. 2: Přístroj PUNDIT LAB

Základní příprava se provádí u každého druhu aplikace. Vzdálenost mezi dvěma sondami by měla být změřena s maximální přesností. Dále je důležité zajistit adekvátní akustické spojení mezi příložitelnými sondami a povrchem vzorku během testu [2]. Nejčastěji jsou prováděny základní měření, skládající se pouze z jednoho měření bez potřeby přemístění sond. Zde existují dva základní druhy zkoušení závisící na parametru, který je známý. Jedná se o vzdálenost sond, nebo o rychlost šíření ultrazvukového impulsu [6].

Objeví – li se během prováděného měření na displeji přístroje chybové hlášení, znamená to, že nebyl přijat žádný stabilní signál. Získání spolehlivých výsledků je podle návodu výrobce zaručeno příjmem stabilního signálu alespoň 75 %. Minimální vzdálenost sond musí být rovna nebo větší než vyslaná vlnová délka. V ostatních případech musí být zajištěno snížení pulsní rychlosti [6].

Jak již bylo řečeno, původně byl tento přístroj určen pro provádění diagnostických prohlídek betonových a železobetonových konstrukcí. Dřevo, jako materiál značně nehomogenní, anizotropní a obvykle povrchově značně poškozený, vyžaduje speciální kalibraci přístrojů a modifikaci již používaných zkušebních postupů.

### 3 DIAGNOSTIKA DŘEVĚNÝCH PRVKŮ POMOCÍ ULTRAZVUKU

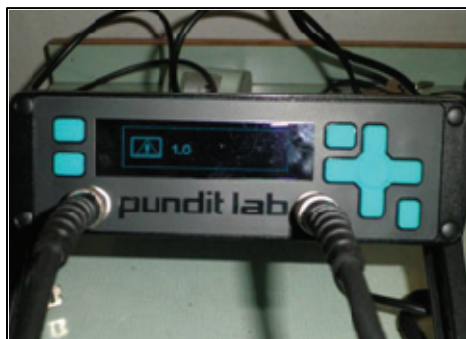
Mezi obvyklé metody pro hodnocení dřevěných konstrukcí náleží vizuální prohlídka, jež zaznamenává viditelná poškození dřevokazným hmyzem a houbami, mechanická poškození apod. Určení vnitřního poškození dřevěných prvků je však tímto způsobem nemožné. Z tohoto důvodu je nutné použít některé z dalších metod. Princip diagnostických metod využívajících ultrazvukové vlnění spočívá ve stanovení rychlosti průchodu vlny prvkem, která je závislá na hustotě dřeva. V případech výskytu defektu se čas průchodu vln prodlužuje, čímž lze zjistit jednotlivá poškození, suky, trhliny atd. [1,2,3,5]. Využití přístrojů pracujících na bázi ultrazvuku je výhodné zejména kvůli svému nedestruktivnímu charakteru a poměrně nízkým prováděcím nákladům.

Pro získání dostatečně přesných výsledků je nutné použít vhodnou vodivou látku, která zajistí vodivý kontakt mezi sondou a zkoumaným materiálem [2]. Tato hmota ve formě gelů, nebo past se aplikuje na povrch sond i dřeva. Při kalibraci přístroje je nutné použít stejnou vodivou látku jako u prováděného měření. U některých prvků je nutné také pro zlepšení příjmu stabilního signálu provádět úpravy jeho povrchu například hoblováním, či broušením [2,3]. V tomto případě dochází k odstranění povrchových vrstev, což především u historických konstrukcí není preferováno.



Obr. 3 a obr. 4: Kalibrace přístroje a laboratorní měření s přístrojem PUNDIT

Před zahájením měření je nutné přesně zjistit rozměry zkoumaného prvku, z důvodu určení vzdálenosti sond, a vlhkost dřeva. Musí být také provedena kalibrace přístroje pro zvolené průrazné napětí, frekvenci ultrazvukového vlnění a použitou vodivou látku. Samotné měření se skládá z přiložení sond opatřených vodivým přípravkem na povrch zkoumaného materiálu. Poté je stanoven čas průchodu vlnění a ze vzdálenosti sond určena hledaná rychlost pulsů. Jestliže je prováděna diagnostika ultrazvukovým testováním u větších nebo silně degradovaných profilů, přesnost měření se snižuje, případně není možné vůbec odečíst stabilní signál. Z tohoto důvodu je vhodné pro poškozené konstrukční prvky volit průrazné napětí maximální. Tuto hodnotu lze u přístroje PUNDIT nastavit pouze na 500 V. Frekvence je pro prováděné měření určena na základě výsledků zkoušek konstrukčních profilů nového dřeva pomocí ultrazvuku, kdy byly použity frekvence 54, 82 a 150 kHz. Frekvence 150 kHz se jeví jako optimální, jelikož vykazovala nejstabilnější signál [6].



Obr. 5: Chybová obrazovka u nestabilního příjmu signálu

V případech, kdy není možné získat stabilní signál ani u konstrukcí s upraveným povrchem, je možné postupovat dvěma způsoby. V prvním případě je možné prohlásit, že prvek je již natolik poškozený, není jej možné dále využít a musí být vyměněn. Jestliže je ovšem nutné provést statické zhodnocení konstrukce, například z důvodu určení zbytkové únosnosti prvku, musí být hodnoty impulzové rychlosti a dynamického modulu pružnosti stanoveny na odebraných vzorcích. Tato varianta zkoušení dřevěného materiálu se řadí ke zkouškám destruktivním.

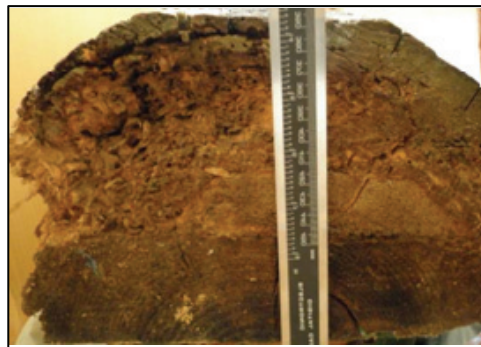
V souvislosti se stanovením dynamického modulu pružnosti pomocí přístrojů pracujících na bázi šíření ultrazvukových vln je nutné pro výpočet dle vzorce (2) stanovit hustotu dřeva. Tato zkouška se provádí na vzorcích odebraných z konstrukce a řadí se proto ke zkušebním metodám destruktivním. Hustota může být také přibližně určena z výsledků semidestruktivní zkoušky PILODYN a vlhkosti pomocí experimentálně odvozených rovnic.

#### 4 HODNOCENÍ VÝSTUPŮ MĚŘENÍ

Základním výstupem měření je čas průchodu ultrazvukového vlnění a z něj odvozená impulsová rychlost. U prvků se známou hustotou dřeva je možné také vypočítat dynamický modul pružnosti zkoumaného materiálu.

Měření rychlosti vlnění je ovlivněno mnoha faktory, přičemž zásadní snížení je způsobeno výskytem defektů ve formě trhlín, suků a poškození způsobených dřevokazným hmyzem a houbami, působením teploty, vlhkosti, UV záření apod. Právě existence zmíněných vad a degradací je zjišťována pomocí prováděného měření, což vede k odhadu míry poškození zkoušeného dřevěného prvku. Změnu rychlosti šíření ultrazvukových impulsů způsobuje i vlhkost, s jejíž rostoucí hodnotou klesá. K dalším méně významným faktorům je řazena teplota a způsob povrchové ochrany dřeva.

Významný vliv má také orientace směru měření k dřevěným vláknům. Obecně se uvádí, že hodnota přenosové rychlosti rovnoběžně s vlákny se v závislosti na druhu dřeviny pohybuje mezi 3500 a 5000 m.s<sup>-1</sup> a kolmo na vlákna mezi 1000 a 1500 m.s<sup>-1</sup>. Poměr rychlostí šíření mezi radiálním a tangenciálním směrem je 5:3,95 [4]. Jestliže je naměřená hodnota menší, pak zkoumaný dřevěný prvek je označen jako degradovaný. Hodnocení stupně poškození probíhá na základě velikosti poklesu rychlosti vlnění. U zabudovaných stavebních prvků vyrobených ze dřeva je impulzová rychlost, vzhledem k jejich umístění, stanovována nejčastěji ve směrech příčných [3,4].



Obr. 6 a obr. 7: Vzorky odebrané z původních konstrukčních profilů

Při praktickém měření bylo použito 10 vzorků odebraných z konstrukčních profilů stropních a střešních konstrukcí. Jednotlivé prvky byly degradovány lokálně i v celém objemu dřevokazným hmyzem, houbami, trhlínami apod. Byly stanoveny rozměry vzorku, jež sloužily jako údaje pro určení vzdálenosti sond. Vodivá látka byla aplikována ve formě indiferentního vodivého gelu i pasty s kaolinitickým glycerinem, v některých případech byl povrch zkoušeného prvku ohoblován. Profily vzorků jsou zdokumentovány (obr. 6 a 7).

Zkoušky byly prováděny s nastavenou frekvencí vlnění 150 kHz a průrazným napětím 500 V zejména ve směrech kolmých k podélnému rozměru prvku. Takovou situaci lze očekávat i při měření in situ. Rychlost vlnění byla stanovována v několika místech vzorku. Vzdálenosti sond se



pohybovaly od 75 mm do 270 mm. Měřením bylo možné určit rychlost šíření ultrazvukových impulsů pouze pro menší vzdálenosti sond (přibližně do 200 mm), a to pouze pro povrchově nedegradované prvky, u nichž se zároveň nevyskytují žádné výrazné poškození a dutiny. Změřeny byly hodnoty rychlosti pulsů v příčných směrech prvků mezi 620 a 960 m.s<sup>-1</sup>. V ostatních případech nebylo možné ani s upraveným povrchem odečíst stabilní signál (obr. 5), což se týkalo přibližně 80 % měření. Komplexní informaci o degradaci zkoušených prvků tak nebylo možné získat.

Interpretace výsledků změřené rychlosti vlnění je obtížná, jelikož ji ovlivňují pro dřevo typické nehomogenity a strukturní vady. Z tohoto důvodu je třeba měření ultrazvukem doplnit také jinými vhodnými metodami, například vizuálním hodnocením nebo měřením s přístroji PILODYN, RESISTOGRAPH a FRACTOMETR [1].

## 5 ZÁVĚR

Dřevěné konstrukční prvky se nacházejí u většiny stavebních objektů a pro hodnocení jejich stavu jsou užívány zejména metody vizuální. Pro lokalizaci vnitřních poškozených částí se využívají přístroje pracující na bázi šíření ultrazvukových vln. Určení charakteru degradace ultrazvukovými přístroji je ovšem obtížné, jelikož hledaná impulsová rychlost je ovlivňována mnoha faktory.

U zkoušených prvků odebraných z reálných konstrukcí bylo zjištěno, že u větších rozměrů a povrchově poškozených vzorků nebylo možné stanovit impulzovou rychlost. Příčinou je nestabilní signál. Ke zkvalitnění výstupů měření by mohlo vést především zvýšení průrazného napětí, které je u přístroje PUNDIT LAB limitováno hodnotou 500 V. Možná je také změna frekvence sond.

Užití ultrazvukových metod, jako jediného způsobu vyšetření vad a poruch, se u stávajících dřevěných konstrukcí jeví jako nevhodné. Vždy je třeba je kombinovat s dalšími diagnostickými metodami.

## LITERATURA

- [1] ČSN 73 1371 Nedestruktivní zkoušení betonu – Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu
- [2] ČSN EN 12504-4 Zkoušení betonu – Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu
- [3] KLOIBER, M. & KOTLÍNOVÁ M. Nedestruktivní defektoskopické přístroje používané při provádění stavebně technických průzkumů historických dřevěných konstrukcí. *Stavební ročenka*. 2005, XV. Nr. 1, pp. 39-43. ISSN 0232-0819.
- [4] KLOIBER, M. & KOTLÍNOVÁ M. Vliv orientace a šířky letokruhů na šíření ultrazvuku ve struktuře dřeva. *Workshop NDT 2005, Non-destructive Testing in Engineering Practice*. 2005, Brno, pp. 53-59. ISBN 80-7204-420-6.
- [5] SCHMID, P. a kol. *Základy zkušebnictví*. 2nd ed. Brno: CERM, 2004. 112 pp. ISBN 80-214-2584-9.
- [6] User manual for PUNDIT LAB, Schwerzenbach: PROCEQ SA, 2010

### Oponentní posudek vypracoval:

Prof. Ivan Makovíny, CSc., Banská Štiavnica.

Ing. Jan Vaněrek, Ph.D., Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně.